

# Device for measuring the pulsing mass flow of a flowing medium

**Patent number:** DE3616777

**Publication date:** 1987-11-19

**Inventor:** FRANK PETER; KOHN DIETMAR; ROLF PROF TRAENKLER HANS

**Applicant:** FRANK PETER (DE); KOHN DIETMAR (DE); TRAENKLER HANS ROLF PROF DR IN (DE)

**Classification:**

- international: G01F1/72; G01F1/28; G01B7/14

- european: G01F1/28; G01F1/72

**Application number:** DE19863616777 19860517

**Priority number(s):** DE19863616777 19860517

## Abstract of DE3616777

A description is given of a device for measuring the pulsing mass flow of a flowing medium, having a deformable measuring element (F) which is inserted into the flowing medium and whose deformation is detected by a sensor (A) located in the flowing medium for the purpose of determining the pulsing mass flow.

According to the invention, the sensor is integrated into the measuring element or mounted thereon. In a preferred configuration of the invention, provision is made of a reference plate arranged in the direction of flow downstream of the measuring element, which is constructed as a measuring plate. The sensor detects the distance between the two plates at a point separated from the clamping point.

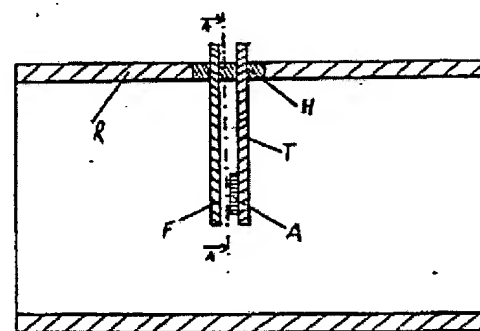


Fig. 1:



Fig. 2

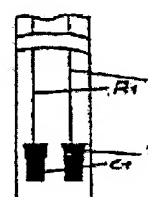


Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 36 16 777.0  
22 Anmeldetag: 17. 5. 86  
43 Offenlegungstag: 19. 11. 87

*Beitrag zur Erfindung*

DE 3616777 A1

71 Anmelder:

Kohn, Dietmar, 8000 München, DE; Tränkler,  
Hans-Rolf, Prof. Dr.-Ing., 8022 Grünwald, DE; Frank,  
Peter, 8011 Putzbrunn, DE

74 Vertreter:

Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.;  
Schiller, W., Dr., Rechtsanw., 8000 München

72 Erfinder:

Antrag auf Teilnennung  
Kohn, Dietmar, 8000 München, DE; Tränkler, Hans  
Rolf, Prof., 8022 Grünwald, DE; Frank, Peter, 8011  
Putzbrunn, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 32 05 705 C2  
DE 31 38 985 A1  
DE 30 44 219 A1  
DE 29 29 528 A1

DE 29 26 811 A1  
DE 28 02 830 A1  
DE-OS 22 11 359  
DE-GM 80 32 666  
DE-GM 79 02 722  
DE-GM 69 23 285  
DE-GM 66 04 542  
GB 11 78 516  
US 43 51 192  
US 43 12 235  
US 33 40 733  
US 31 14 261

54 Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms eines strömenden Mediums

Beschrieben wird eine Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms eines strömenden Mediums mit einem verformbaren Meß-Element (F), das in das strömende Medium eingesetzt ist, und dessen Verformung ein im strömenden Medium befindlicher Sensor (A) zur Bestimmung des Massenimpulsstroms erfaßt.

Erfindungsgemäß ist der Sensor in das Meß-Element integriert oder auf dieses aufgebracht. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist eine in Strömungsrichtung hinter dem als Meß-Platte ausgebildeten Meß-Element angeordnete Referenzplatte vorgesehen; der Sensor erfaßt den Abstand zwischen den beiden Platten an einer von der Einspannung beabstandeten Stelle.

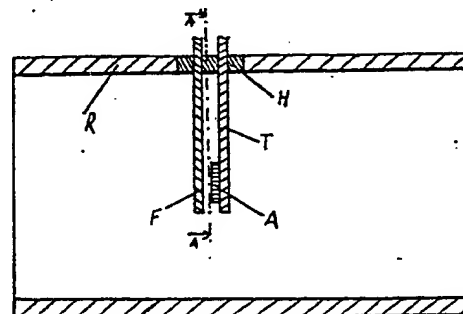


Fig. 1:



Fig. 2

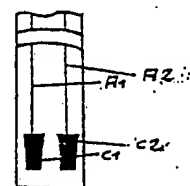


Fig. 3

DE 3616777 A1

1. Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms eines strömenden Mediums mit einem verformbaren Meß-Element (F), das in das strömende Medium eingesetzt ist, und dessen Verformung ein im strömenden Medium befindlicher Sensor (A) zur Bestimmung des Massenimpulsstroms erfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor in das Meß-Element integriert oder auf dieses aufgebracht ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meß-Element eine Platte ist, die wenigstens einseitig gehalten ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor zur Erfassung der Auslenkung der Meß-Platte ein Oberflächenwellen-Filter ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor ein piezoelektrisches und/oder magnetoelastisches Material aufweist.
5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meß-Element ein wenigstens einseitig gehaltenes Rohr ist, in dessen Innerem ein Referenzelement angeordnet ist, und daß der Sensor den Abstand zwischen der Innenseite des Rohres und dem Referenzelement erfaßt.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor als Referenzelement dient.
7. Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms eines strömenden Mediums mit einer verformbaren Meß-Platte (F), die in das strömende Medium eingesetzt ist, einer in Strömungsrichtung hinter der Meß-Platte angeordneten Referenzplatte (T), die durch den Massenimpulsstrom praktisch nicht verformt wird, und einem im strömenden Medium befindlichen Sensor (A), der die Verformung der Meßplatte erfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des Massenimpulsstroms der Sensor lediglich den Abstand zwischen beiden Platten in einem von der Halterung beabstandeten Bereich der Meß-Platte erfaßt.
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor eine auf einer der beiden Platten bzw. auf der Rohrwand oder dem Referenzelement aufgebrachte Spule (A) aufweist, deren durch die Auslenkung der Meß-Platte hervorgerufene Impedanzänderung erfaßt wird.
9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor auf einer oder beiden Platten bzw. auf der Rohrwand und/oder dem Referenzelement aufgebrachte Spulen aufweist und die durch die Auslenkung der Meß-Platte hervorgerufene Änderung des Kopplungsfaktors der Spulen erfaßt wird.
10. Einrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulen Flachspulen sind.
11. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer der beiden Platten zwei Kondensatorplatten (C1, C2) aufgebracht sind, die mit der anderen Platte zwei in Serie geschaltete Kondensatoren bilden, deren Kapazitätsänderung erfaßt wird.
12. Einrichtung nach Anspruch 1, 2, 5, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor einen magnetfeldempfindlichen Aufnehmer aufweist.
13. Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstromes eines strömenden Mediums mit einer Meß-

Platte, die das strömende Medium anströmt, einer in Strömungsrichtung hinter der Meß-Platte angeordneten Referenzplatte, die durch den Massenimpulsstrom praktisch nicht verformt wird, und einem im strömenden Medium befindlichen Sensor, der die Auslenkung der Meßplatte erfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Meß-Platte eine Prallplatte ist, die mittels einer Schraubenfeder, deren Achse in etwa parallel zur Strömungsrichtung liegt, an der Referenzplatte befestigt ist, und daß die Auslenkung der Prallplatte aus ihrer Ruhelage über die Änderung der Impedanz der Schraubenfeder gemessen wird.

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zur Realisierung einer gewünschten Sensorkennlinie mehrere unterschiedliche Sensoren parallel und/oder in Serie geschaltet sind.

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf Einrichtungen zur Messung des Massenimpulsstroms gemäß den Gattungsbegriffen der Patentansprüche 1, 7 oder 13.

Eine gattungsgemäße Einrichtung ist beispielsweise aus der DE-OS 29 29 528 bekannt. Bei dieser bekannten Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms bildet eine verformbare Meß-Platte eine Platte eines Plattenkondensators, dessen zweite Platte eine vollständig im strömenden Medium befindliche Referenzplatte bildet, die in Strömungsrichtung hinter der Meß-Platte angeordnet ist. Die Verformung der Meß-Platte bewirkt eine Kapazitätsänderung, die gemäß der DE-OS 29 29 528 aus der Frequenzänderung eines Schwingkreises bestimmt wird.

Ähnliche Einrichtungen sind aus der DE-PS 28 02 830, der US-PS 32 32 288 oder dem DBGM 69 23 285 bekannt.

Diese bekannten Einrichtungen haben jedoch — wie erfindungsgemäß erkannt worden ist — eine Reihe von Nachteilen:

Im Bereich der Einspannung der Meß-Platte beispielsweise in einer Rohrwand bilden sich im Laufe der Betriebszeit Ablagerungen, die die Kapazität des Meßkondensators verändern.

Hierdurch ergeben sich im Laufe der Betriebszeit Meßfehler, deren Größe nur schwer abzuschätzen ist.

Ein weiterer Meßfehler ergibt sich bei den bekannten gattungsgemäßen Einrichtungen durch den Massenstrom, der auch zwischen den Kondensatorplatten strömt, und der bei geladenen und/oder polarisierbaren Teilchen einen elektrischen Stromfluß zwischen den Platten und damit eine Änderung der Wechselstrom-Impedanz des Meßkondensators zur Folge hat. Der Stromfluß zwischen den Platten ist zudem aufgrund von Verwirbelungen etc. an den in etwa senkrecht im strömenden Medium stehenden Platten zeitlich nicht konstant. Dieser Meßfehler ist ebenfalls nur schwer abzuschätzen.

Eine Einrichtung anderer Gattung zur Bestimmung der Richtung eines Massenimpulsstroms ist aus der DE-OS 32 31 928 bekannt. Bei dieser Einrichtung sind Widerstände zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit vorgesehen. Zur Bestimmung der Strömungsrichtung wird ein im wesentlichen außerhalb des strömenden Mediums angeordneter Federkörper verwendet, der mit einem im strömenden Medium angeordneten Staukörper verbunden ist. Auf dem Federkörper ist ein Dehnungsmeßstreifen aufgebracht, der die Biegung des

Federkörpers und nicht des Staukörpers erfaßt, und dessen Ausgangssignal qualitativ zur Bestimmung der Strömungsrichtung ausgewertet wird. Eine quantitative Auswertung zur Messung des Massenimpulsstromes ist in dieser Druckschrift nicht angesprochen.

Ferner ist es bekannt, die durch die Strömung verursachte Kraft mittels einer Turbine oder einer Klappe in eine Drehbewegung umzuformen. Hierbei ist jedoch eine verschleißunterliegende mechanische Lagerung erforderlich. Ferner wird die Meßgenauigkeit durch die in den Lagern auftretenden Reibungskräfte beeinträchtigt.

Bekannt ist außerdem eine Vorrichtung, bei der die Auslenkung einer Quarzfaser durch die Strömung mittels eines an der Rohraußenwand angebrachten optischen Systems erfaßt wird. Nachteil dieses Aufbaus ist neben der aufwendigen Optik auch die Tatsache, daß sowohl die Rohrwand als auch das Medium lichtdurchlässig sein müssen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zur Messung des Massenimpulsstroms anzugeben, bei der durch Ablagerungen, elektrischen Stromfluß infolge des strömenden Mediums etc. keine Meßfehler auftreten.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist mit ihren Weiterbildungen in den Patentansprüchen gekennzeichnet.

Überraschenderweise kann zur Lösung der Aufgabe weiterhin von Einrichtungen gemäß den Gattungsbegriffen der Ansprüche 1, 7 bzw. 13 ausgegangen werden. Durch die in den kennzeichnenden Teil dieser Patentansprüche angegebenen Merkmale wird erfindungsgemäß erreicht, daß Ablagerungen im Bereich der Einspannung beispielsweise in einer Rohrwand praktisch keinen Einfluß auf das Meßergebnis haben.

Das Meßelement kann eine verformbare Platte oder ein Rohr sein, in dessen Inneren sich der Sensor befindet (Anspruch 2 bzw. 5).

Das Meßelement kann einseitig oder beidseitig in einem Rohr, in dem das Medium strömt eingespannt sein. Auch kann die Referenzplatte mittels Federn, Versteifungen etc. in der Strömung aufgehängt sein, und die Meß-Platte an der Referenzplatte befestigt sein.

In jedem Falle kann das Meßelement von der Strömung in etwa senkrecht oder unter einem Winkel angeströmt werden. Die zweite Möglichkeit hat den Vorteil der strömungsgünstigeren Anordnung, unter Umständen kann sich jedoch eine ungünstigere Sensorkennlinie ergeben.

Prinzipiell kann die Auslenkung des durch die Strömung verformten Meßelement sowohl absolut als auch relativ zu einem hinter bzw. in dem Meßelement angeordneten Referenzelement mit beliebigen Verfahren erfaßt werden. Beispielsweise ist es möglich, optische Sensoren zu verwenden, die die Auslenkung der Platte bzw. den Abstand zwischen den beiden Platten über ein Schattenbildverfahren oder dergleichen messen. Auch können auf der verformbaren Meß-Platte oder in dem verformbaren Meßrohr Dehnungsmeßstreifen angebracht sein, mit denen die Verformung und damit der Massenimpulsstrom direkt im strömenden Medium gemessen wird.

Bevorzugte Möglichkeiten für die Ausbildung des Sensors sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Die Erfassung der Auslenkung beziehungsweise der Verformung der Meßplatte mit einem auf der Meß-Platte aufgetragenen bzw. in das Meßrohr eingebrachten Oberflächenwellen-Filter erlaubt eine sehr genaue Erfassung der Auslenkung durch die "Verstimmung" des

Filters (Anspruch 3).

Ferner ist es auch möglich, den Sensor aus einem piezoelektrischen und/oder magnetoelastischen Material zu fertigen ein derartiges Material auf den Sensor aufzubringen oder in den (beispielsweise als Rohr ausgebildeten) Sensor einzubringen (Anspruch 4). Auch hierdurch ist eine direkte Erfassung der Verformung der Meß-Platte möglich, ohne daß eine Referenz verwendet werden müßte.

In den Ansprüchen 8 bis 12 sind bevorzugte Möglichkeiten gekennzeichnet, die Verformung der Meß-Platte gegenüber einer Referenzplatte bzw. die Verformung eines rohrförmigen Meßelements gegenüber einem in dem Rohr angeordneten Referenzelement zu bestimmen. Die im strömenden Medium hinter der Meß-Platte angeordnete Referenzplatte hat darüber hinaus auch noch den Vorteil, daß sie zur Aufnahme weiterer Elemente, beispielsweise einer Auswerteelektronik, von Betätigungselementen wie Drosselklappen, Mikroventilen etc. oder sonstigen Stellgliedern dienen kann. Die Referenzplatte kann darüber hinaus auch zur strömungsgünstigen Einleitung eines zusätzlichen Fluidstroms benutzt werden, dessen Größe beispielsweise in Abhängigkeit vom Massenimpulsstrom des strömenden Mediums geregelt bzw. gesteuert wird.

Die im Anspruch 8 bzw. 9 gekennzeichnete Ausbildung des Sensors hat den Vorteil, daß der Abstand zwischen der Meß-Platte und der Referenzplatte ohne Störungen durch das strömende Medium erfaßt werden kann. Die Spulen, die auf einer oder beiden Platten aufgebracht sind, können dabei bevorzugterweise geätzte Flachspulen (Anspruch 10) sein.

Durch die im Anspruch 11 gekennzeichnete Ausbildung des Sensors wird erreicht, daß sich elektrische Ströme, die in den Kondensatoren aufgrund des strömenden Mediums fließen, gegenseitig aufheben. Bei geeigneter Geometriewahl können dabei auch turbulente Strömungen praktisch vollständig kompensiert werden.

Die Ausbildung des Sensors gemäß Anspruch 12 mit einem magnetfeldempfindlichen Aufnehmer hat den Vorteil, daß ein direkt weiterverarbeitbares analoges Ausgangssignal zur Verfügung steht.

Im Anspruch 13 ist eine weitere Realisierung des allgemeinen Erfindungsgedankens gekennzeichnet, bei der die Auslenkung der als Prallplatte ausgebildeten Meß-Platte gegen die Kraft einer Feder bestimmt wird. Dabei ist es insbesondere von Vorteil, wenn die Verkürzung der Feder direkt bestimmt wird, wie dies beispielsweise im deutschen Patent 32 05 705 beschrieben ist. Die Referenzplatte kann dabei so strömungsgünstig ausgebildet sein, daß sie die Strömung des Mediums praktisch nicht behindert. Im Extremfall kann die Referenzplatte aus einem hinter der Prallplatte angeordneten Teilstück bestehen, das an senkrecht zur Strömung angeordneten "steifen" Federn aufgehängt ist.

Durch die im Anspruch 13 gekennzeichnete Anordnung mehrerer gegebenenfalls unterschiedlicher Sensoren können bestimmte Kennlinien realisiert werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben, in der zeigen:

Fig. 1 eine mögliche prinzipielle Meßanordnung,

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Ausführung der in Fig. 1 gezeigten Anordnung, und

Fig. 3 eine weitere erfindungsgemäße Ausführung der in Fig. 1 gezeigten Anordnung.

Fig. 1 zeigt eine mögliche prinzipielle Meßanordnung. In einem von dem Medium, dessen Massenimpuls-

strom gemessen werden soll, durchströmten Rohr  $R$  sind eine als Meß-Platte dienende elastische Formfeder  $F$  und eine Referenzplatte  $T$  angeordnet. Auf der Referenzplatte ist ein Aufnehmerelement  $A$  vorgesehen.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Realisierung ist die Meß-Platte  $F$  einseitig mittels einer Halterung  $H$  gehalten. Durch die Gestaltung der Halterung  $H$  und der das Aufnehmerelement tragenden Referenzplatte  $T$  ist der Ruheabstand zwischen Formfeder und Aufnehmerelement festgelegt.

Die Fig. 2 und 3 zeigen eine Schnitt durch die in Fig. 1 dargestellte Anordnung bei A-A.

In Fig. 2 ist das Aufnehmerelement  $A$  eine Flachspule mit Anschlüssen  $A 1$  und  $A 2$ . Durch die Verformung der Formfeder  $F$  wird der Abstand zwischen den beiden Platten im Bereich der Meßspule  $A$  geändert; dies führt zu einer Impedanzänderung der Spule, die als Maß für den Massenimpuls erfaßt wird. Die Impedanzänderung der Spule kann über die Anschlüsse  $A 1$  und  $A 2$  in bekannter Weise gemessen werden.

In Fig. 3 sind auf der Referenzplatte zwei Kondensatorplatten  $C 1$  und  $C 2$  mit Anschlüssen  $A 1$  und  $A 2$  aufgebracht, die mit der als Meß-Platte dienenden Formfeder zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren bilden. Durch diese Anordnung kompensieren sich eventuelle elektrische Ströme, die aufgrund der Strömung des Mediums zwischen der Meß-Platte  $F$  und der Referenzplatte  $T$  fließen. Ferner sind die gebildeten Plattenkondensatoren von der Einspannung  $H$  beabstandet, so daß Ablagerungen keine Änderungen der Kapazität der Kondensatoren bewirken.

Im folgenden soll auch die Arbeitsweise der erfindungsgemäßen Einrichtungen beschrieben werden:

Die Änderung des Impulses  $I$  eines strömenden Mediums führt zu einer Kraft auf die die Änderung bewirkende Fläche gemäß folgender Gleichung:

$$F = v^2 A \rho (1 - \cos \beta) = \dot{m} v (1 - \cos \beta)$$

Hierbei bedeuten:

- $\rho$  die Dichte des Mediums
- $A$  die angeströmte Fläche,
- $v$  die mittlere Strömungsgeschwindigkeit,
- $\beta$  den Abströmwinkel der Strömung von der Formfeder,
- $\dot{m}$  den Massestrom,
- $F$  die Kraft auf die Formfeder

Unter der Annahme einer gleichverteilten Strömung bewirkt die Kraft eine gleichverteilte Flächenbelastung der Formfeder.

Es ergibt sich folgende Auslenkung der Formfeder:

$$x = c_1 \rho v^2 A = c_2 \dot{m} v$$

mit  $c_1$  und  $c_2$  als von der gewählten Ausführung abhängigen Skalierungsfaktoren. Sie berücksichtigen auch das Verhältnis von aktiver Meßfläche der Formfeder zur aktiven Gesamtfläche des Meßrohres.

Für die in den Fig. 2 und 3 dargestellten Ausführungsbeispiele ergeben sich folgende Näherungen für die Gesamtkennlinie als Funktion der Auslenkung  $x$  der Meß-Platte (Formfeder)  $F$ :

1. Induktives Aufnehmerelement mit LC-Oszillator

$$L \sim (x_0 - x)^{1/2}$$

$$f \sim (1/(LC))^{1/2}$$

$$f \sim (1/(C\sqrt{x_0 - x}))^{1/2}$$

2. Kapazitives Aufnehmerelement mit LC-Oszillator

$$C \sim (1/(x_0 - x))^{1/2}$$

$$f \sim (1/(LC))^{1/2}$$

$$f \sim ((x_0 - x)/L)^{1/2}$$

Hierin bedeuten:

- $L$  Induktivität,
- $C$  Kapazität,
- $x$  Auslenkung der Formfeder,
- $x_0$  Grundabstand,
- $f$  Frequenz.

Vorstehend ist die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben worden. Innerhalb des allgemeinen Erfindungsgdankens sind selbstverständlich die verschiedensten Modifikationen möglich:

Bei den gezeigten Ausführungsbeispielen wird die Meß-Platte vom Medium in etwa senkrecht angeströmt. Es ist aber auch möglich, die Platten unter einem Winkel zur Strömungsrichtung einzusetzen, so daß die Anordnung strömungsgünstig ausgebildet ist.

Die beiden Platten können nicht nur einseitig eingespannt sein wie bei den gezeigten Ausführungsbeispielen, sondern auch beid- oder mehrseitig. Ferner ist es möglich, die Meß-Platte an der Referenzplatte und nicht an der Rohrwand zu befestigen.

Der Sensor bzw. Aufnehmer kann nicht nur auf einer Platte aufgebracht sein, sondern auch in einer Platte. Ferner kann auch eine Platte aus dem Sensormaterial vollständig bestehen.

Anstelle einer Platte kann auch ein einseitig oder beidseitig eingespanntes Rohr verwendet werden, dessen Auslenkung an einer bestimmten Stelle in der Strömung erfaßt wird.

Dabei ist es bevorzugt, wenn der Sensor in dem Rohr angeordnet ist. Für den Sensor kommen prinzipiell sämtliche angesprochene Möglichkeiten in Betracht. Besonders bevorzugt ist es jedoch, wenn der Sensor in der Rohrchse oder konzentrisch hierzu angeordnet ist, und die Verformung des Rohrs gegenüber der (Ruhe-) Rohrachse erfaßt. Dies kann beispielsweise kapazitiv, induktiv usw. erfolgen.

36T6111

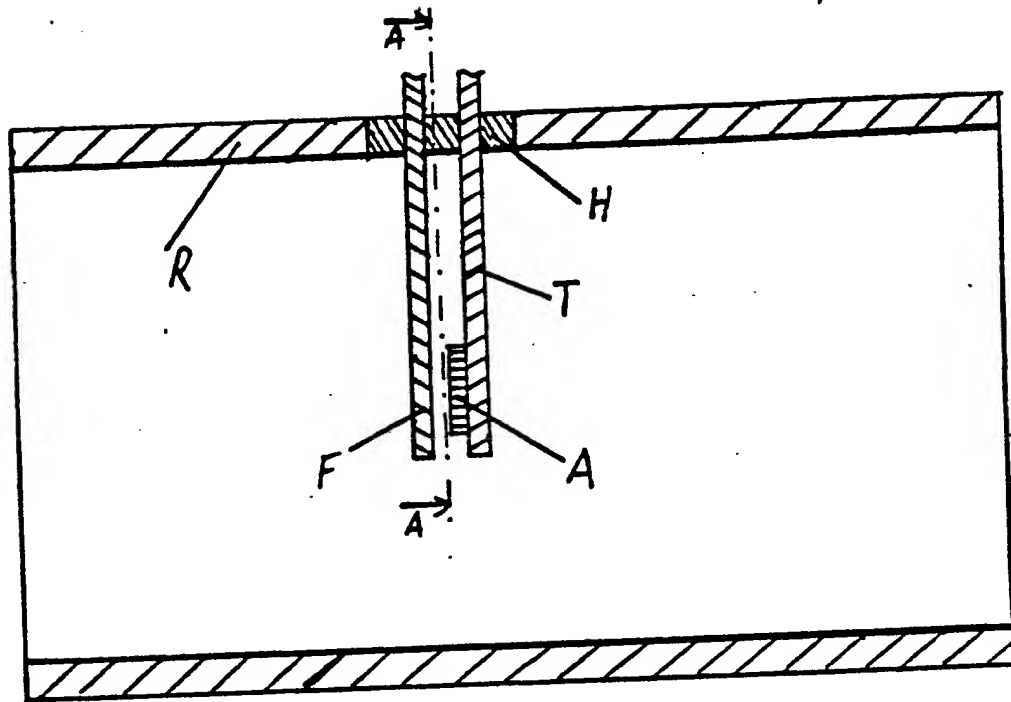


Fig. 1:

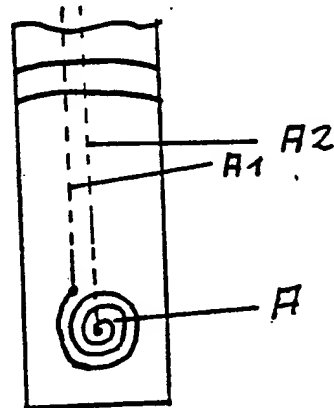


Fig. 2

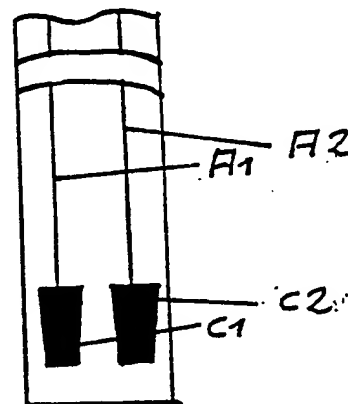


Fig. 3

ORIGINAL INSPECTED